超小型高精度水晶デバイスを実現する最新技術

小型化を実現する製造プロセスを理解しよう

宮澤輝久

タイミング・デバイスとしての水晶に焦点を当て，水晶振動子の製造方法とその特性，発振回路の仕組みと基板上でのマッチングの取り方，および水晶発振器の選び方について紹介します．水晶デバイスを深く理解して回路設計および基板実装などで役に立ててください．（筆者）

タイミング・デバイスに水晶が好まれる理由

1880年にキュリー兄弟（Pierre Curie, Jacques Curie）が圧電効果を発見して以来，水晶を用いたタイミング・デバイスはさまざまな産業分野で使用されています．

周波数を発生させる方法には，インダクタLとキャパシタCを組み合わせ，共振により周波数を発生させるLC発振器や，キャパシタCと抵抗Rによる充放電回路を用いて周波数を発生させるCR発振器などがあります．しかし，水晶の圧電効果を用いて周波数を発生させる水晶発振器が産業分野では広く採用されています．その理由は，LC発振器やCR発振器に比べて，水晶発振では振動する際の損失が極めて小さいことが挙げられます．すなわち，安定な周波数の発生が容易であるからです．

一般的に，水晶を周波数発振器（タイミング・デバイス）として捉えたときに，以下の特徴があります．

- 人口水晶育成技術の確立により，均一で変化しにくい安定した高品質な材料の確保，供給が可能である
- 素材そのものが適度な硬さをもち，加工性に優れている．機械加工，ケミカル加工が可能
- 切り出す方向によって，いろいろな周波数を作り出すことができる

ATカット，BTカット，CTカット，STカットなど，切り出し角度ごとにカット（切断角度）名が付けられています．たとえばATカットは，厚みすべり振動を用いる切断角度で，1MHz～数十MHzの周波数を作り出すことができます．

- 切り出す方向によってゼロ温度係数の性質がある

温度変化に対し，周波数変化が少ないカットを選ぶことができます．ただし，カットは，前記の周波数特性と温度変化特性双方に関係があります．

- 物理的・化学的に安定した物質である

経時変化が少なく，安定度が高いため，通信分野など，長期にわたりシステムの信頼性が要求される用途に適しています．

- 振動の内部損失が極めて小さい

低電力で発振が可能です．携帯機器に最適な周波数発振器が構成できます．

水晶振動子の製造工程

図1に，ATカット型表面実装タイプの水晶振動子の一般的な製造工程を示します．人口水晶を素材として，カット，研磨などの機械加工工程を経て，電極形成，周波数調整，パッケージ組み立て，検査を経て完成します．

非常に多くの工程を含んでおり，各工程での加工精度が完成品の製品性能に影響を与えます．

KeyWord　タイミング・デバイス，マッチング方法，ATカット型表面実装タイプ水晶振子，CI値，フォト・リソグラフィ・プロセス，QMEMS
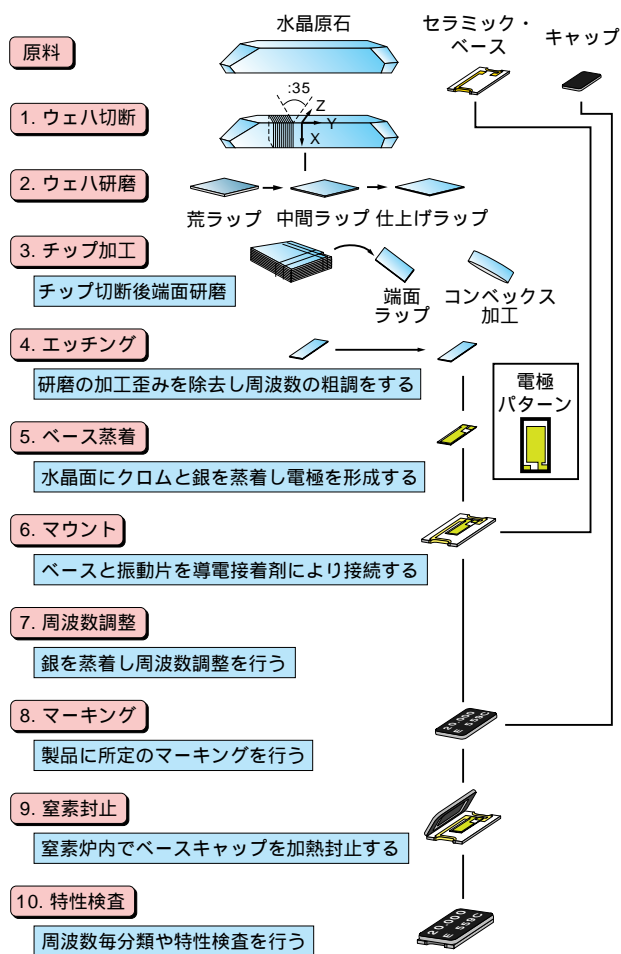
図1　水晶振動子の一般的な製造方法
ATカット型表面実装タイプ水晶振動子の製造工程代表例．製造能力にもよるが，通常ウェハ切断から完成まで数週間を要する．

図2　ATカット型表面実装タイプ水晶振動子のサイズ・トレンド
体積を対数プロットすると，直線的に小型化が進んでいる．
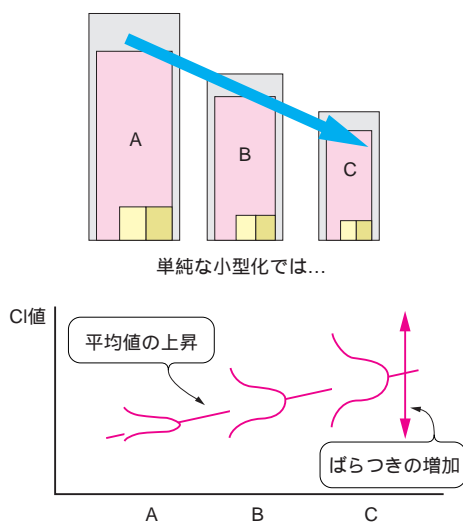
図3　水晶振動素子の小型化に対する特性影響
単純な小型化を行った場合，CI値が増加してしまう．

水晶振動子の小型化動向

近年，カメラ付き携帯電話や小型・薄型デジタル・カメラをはじめとする携帯型電子機器は，以前にも増して高機能化や小型化，薄型化が進んでいます．そして，これら携帯型電子機器に使われる電子部品には，小型化された製品の短納期化と安定した供給が求められています．

電子部品の中でも，特に小型化要求の強いATカット型水晶振動子のサイズ動向を図2に示します．

1995年以降急速な小型化が進んでいます．性能，品質を確保しながら，いかに小型化・薄型化を実現していくかが水晶振動子の製品化において重要なテーマです．

水晶振動子を小型化する場合，以下に示すように，性能に影響します．

- 水晶振動素子製造時の機械加工精度が特性ばらつきに影響する（図1のチップ加工工程）

加工精度ばらつきにより，CI（crystal impedance）値，スプリアス，温度特性，周波数偏差などの諸特性がばらつきます．小型化と同時に，加工精度についても一段の向上が必要になります．

- 小型パッケージ組み立て精度の向上が必要（図1のマウント工程）

小型化により，マウント搭載位置や接着剤塗布などにより高い精度が要求されます．

- 水晶振動素子の小型化により特性が急激に劣化する（図3）

小型化に伴い，水晶発振が振動する際の損失が大きくなります．すなわち，大きい水晶振動子と比べて発振しにくくなります．

各種水晶デバイスにおいて，性能，品質を確保しながら，
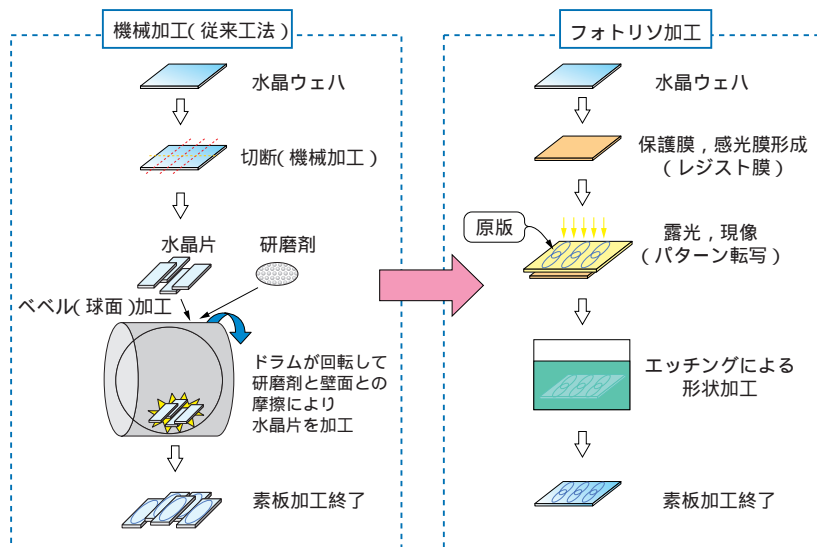
図4　フォト・エッチング加工を用いて水晶振動素子を製造する方法
半導体製造プロセスと同様に，フォト・エッチング・プロセスの積極活用により，ウェハ・レベル製造を実現している．

写真1　小型水晶振動子
QMEMS技術を採用し，低CI値および高安定性能を実現した2.0mm×1.6mmサイズの小型表面実装型水晶振動子，エプソントヨコムの「FA-128」．2005年10月から量産中．周波数範囲は24MHz～50MHz．
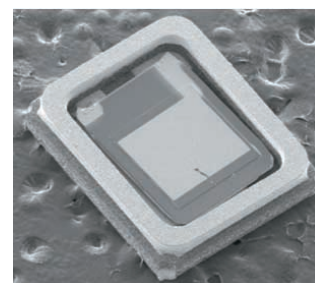
写真2　小型水晶振動子の振動素子
QMEMS技術で製造した振動素子．フォト・エッチング・プロセスで，平滑な電極面形成と電極周りに段差を形成（メサ型振動子）により，低CI値と高安定性能を実現している．

小型化や薄型化を実現するためには，これらの課題を克服する必要があります．とりわけ，**図1**のチップ加工工程から蒸着工程までの加工工程でいかに精度を向上させるかが水晶振動子小型化の重要なポイントです．

水晶振動子の小型化最新技術

小型水晶振動子は，従来の機械加工プロセスに代えて，半導体製造技術で一般的な，フォト・リソグラフィ（フォトリソ）プロセスを水晶製造工程に応用して製造されています．外形，電極形状精度を飛躍的に向上させて，低CI値化，周波数制御手法の確立，優れた温度特性，およびさらに小型化を実現する製造手法が確立されています（**図4**）．

一般的に，「半導体微細加工技術を応用して，機械，電子，光，化学などに関するさまざまな機能を集結したデバイス」のことを，MEMS（micro electro mechanical systems）と呼びます．筆者ら（エプソントヨコム）は，水晶素材への微細加工技術を用いて，機械，電子，光，化学などに関するさまざまな機能を集め，高精度，高安定などの付加価値を携えた水晶デバイスは，「QMEMS（Quartz ＋ micro electro mechanical systems）」と定義しています．

QMEMSとは，一般的にイメージされる「MEMS＝半導体材料」の材料を水晶に置き換えたものです．

QMEMS水晶の応用製品

このQMEMS技術を用いている，パッケージ外形寸法2.0mm×1.6mmの小型面実装タイプのAT型水晶振動子を**写真1**と**写真2**に示します．

次章以降で，慎重な設計が必要になる表面実装型水晶発振子による発振回路の最適設計について説明します．

みやざわ・てるひさ
エプソントヨコム（株）

<筆者プロフィール>
宮澤輝久． 開発技術統括部 商品企画戦略部課長．1991年入社．現在の業務は中期商品戦略推進および商品企画推進．